

# **SOBRE A UTILIZAÇÃO DA ANÁLISE DE SISTEMAS NO PLANEAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS**

Maria da Conceição M. O. CUNHA<sup>1</sup>

## **RESUMO**

Para além de constituir um elemento essencial à vida sobre a terra, a água é também um elemento essencial em múltiplos processos produtivos. A satisfação da respectiva procura reveste-se, em muitos casos, de alguns problemas, resultantes de a ocorrência da água na natureza, quer em relação aos locais onde se encontra, quer em relação ao regime hidrológico natural, quer em relação à qualidade que apresenta (muitas vezes inadequada também em consequência da actividade humana) não corresponder às necessidades das populações

Torna-se, pois, necessário intervir sobre os ambientes e os processos naturais de ocorrência da água no sentido de transformar os recursos hídricos potenciais em recursos disponíveis, com os quais se torne possível proporcionar água em quantidade e qualidade, com adequada distribuição espacial e temporal.

A transformação referida traduz-se, na maioria dos casos, pelo estabelecimento de infraestruturas cuja instalação e exploração exigem, em geral, investimentos avultados. Este facto, (dinheiros públicos vão ser utilizados) determina, por si só, que qualquer intervenção no sentido de proporcionar água para as múltiplas utilizações deva ser objecto de cuidadoso planeamento. Esta ideia é ainda reforçada pela necessidade, hoje comumente aceite, de que o desenvolvimento das sociedades deve realizar-se de uma forma sustentável.

A resolução destes problemas, articulando todos os aspectos mencionados, tem vindo a tornar-se possível pela utilização das chamadas abordagens sistémicas. Efectivamente estas abordagens permitem que as variadas facetas do problema sejam vistas como constituindo uma entidade única e não um conjunto de partes individualizadas.

A análise de sistemas constitui uma ferramenta capaz de integrar as contribuições e as linguagens de diferentes disciplinas e de incorporar os dados e os resultados da investigação de diferentes domínios.

**Palavras-Chave:** análise de sistemas, planeamento de recursos hídricos

---

<sup>1</sup> Doutora em Engenharia Civil. Professora Coordenadora - Instituto Superior de Engenharia de Coimbra - IPC. Investigadora do IMAR - DEC Universidade de Coimbra.  
ISEC - Quinta da Nora - 3000 Coimbra.

## 1- INTRODUÇÃO

Para além de constituir um elemento essencial à vida sobre a terra, a água é também um elemento essencial em múltiplos processos produtivos.

A satisfação das procuras assim geradas reveste-se, em muitos casos, de alguns problemas que resultam de a ocorrência da água na natureza, quer em relação aos locais onde se encontra, quer em relação ao regime hidrológico natural, quer em relação à qualidade (muitas vezes inadequada também em consequência da actividade humana) não corresponder às necessidades.

Torna-se, pois, necessário intervir sobre os ambientes e os processos naturais de ocorrência da água no sentido de transformar os recursos hídricos potenciais em recursos disponíveis, com os quais seja possível proporcionar água em quantidade e qualidade, com adequada distribuição espacial e temporal. Ou seja, se for  $Q_p$  a quantidade de um recurso potencial, cuja qualidade é  $K_p$  e, cuja localização é  $L_p$ , deve operar-se a seguinte transformação:

$$Q_p, K_p, L_p \rightarrow Q_d, K_d, L_d$$

em que  $Q_d$ ,  $K_d$ ,  $L_d$ , são respectivamente a quantidade, a qualidade e localização dos recursos que se tornam disponíveis para responder à procura.

A transformação referida traduz-se, na maioria dos casos, pelo estabelecimento de infraestruturas, cuja instalação e exploração exigem, em geral, investimentos avultados. Este facto, por si só (dinheiros públicos vão ser utilizados) indica que qualquer intervenção, no sentido de proporcionar água para as múltiplas utilizações, deva ser objecto de cuidadoso planeamento. Esta ideia é ainda reforçada pela necessidade, hoje comumente aceite, de que o desenvolvimento das sociedades deve realizar-se de uma forma sustentável. Uma vez que os problemas de estabelecimento e exploração das infraestruturas estão intimamente ligados, aqui, o termo planeamento contém implícito o conceito de gestão.

## 2 - O CONTRIBUTO DA ANÁLISE DE SISTEMAS

Existem diferentes tipos de recursos que podem ser mobilizados, com diferentes modos de ocorrência na natureza, em locais susceptíveis de facilitar ou dificultar a localização de infraestruturas para a respectiva exploração. Acresce ainda, que o conjunto destes recursos vai ser utilizado para diferentes actividades, nomeadamente, actividades agrícolas e industriais e para consumo público, cujas exigências quanto a características quer físicas quer temporais são significativamente diferentes. De acordo com os diferentes tipos de recursos a mobilizar e as respectivas características em termos de qualidade, as infraestruturas a construir deverão ser diferentes. Assim poderão ser identificados diferentes tipos de infraestruturas: barragens, baterias de poços, captações superficiais, estações de tratamento, reservatórios intermédios, condutas adutoras, dispositivos de drenagem de solos, etc..

Os locais a seleccionar para constituírem potenciais pontos de implantação das diferentes infraestruturas, para além das respectivas características topográficas e dos aspectos relativos à disponibilidade de recursos, em termos de quantidade, deverão ter em consideração as características e as políticas que possam colocar questões em termos de qualidade.

É obvio que as diferentes políticas mencionadas (urbanísticas, industriais, etc.) condicionam também os locais potencialmente disponíveis para a localização das infraestruturas, não só em termos físicos, mas também, em termos económicos. De facto, as

funções de custo, através das quais se avaliarão os investimentos a realizar quer na instalação, quer na exploração das infraestruturas necessárias, serão fortemente influenciadas pelas referidas políticas.

Nos diferentes níveis de planeamento a desenvolver para a concretização das intervenções a realizar no âmbito dos recursos hídricos deverão ser consideradas todas as outras intervenções que de alguma forma condicionem a utilização dos recursos potencialmente disponíveis ou que por si sós induzam variações nas procuras dos referidos recursos.

Do que acabamos de referir e salientando, ainda, que a ocorrência da água na natureza não conhece fronteiras administrativas, concluímos que o desenvolvimento de planos para utilização de recursos hídricos devem ser processos olhados de uma forma interactiva, em que podem estar presentes diferentes níveis de decisão, diferentes agentes de decisão e em que os ambientes naturais sobre os quais se actua são bastante complexos quer do ponto de vista da sua caracterização física e económica, quer do ponto de vista social.

As decisões a tomar devem ser aquelas que correspondem às soluções óptimas (relativamente a um objectivo pré-estabelecido) de um problema com o seguinte enunciado: tendo em conta os recursos potenciais, com distribuição temporal e espacial conhecidas, que infraestruturas construir e como explorá-las de forma a satisfazer as procuras e tendo em conta os consequentes impactos ambientais (Figura 1).

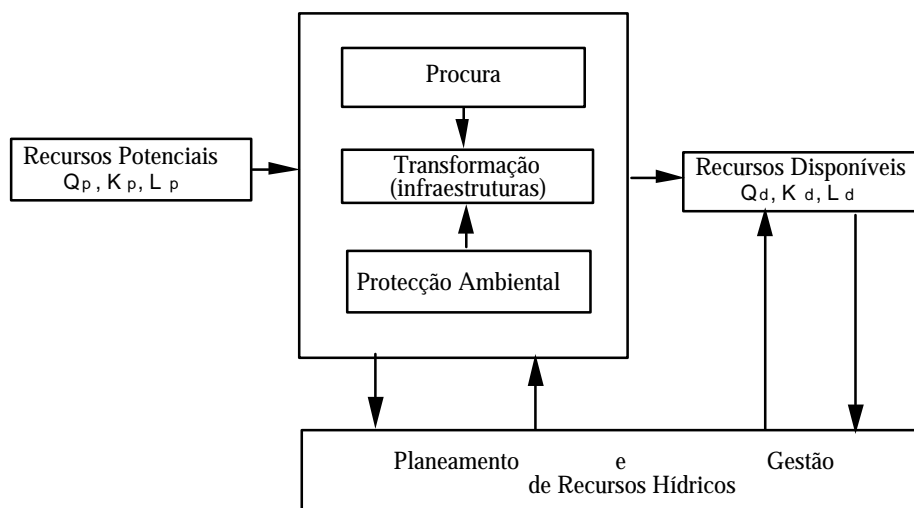


Figura 1- O problema do planeamento e gestão de recursos hídricos

De uma maneira geral, os agentes de decisão quererão conhecer as seguintes respostas (refere-se de uma maneira geral pois que as respostas poderão corresponder a diferentes níveis de decisão) :

- onde, quando e que tipo de infraestruturas deverão ser construídas;
- quais os investimentos a realizar, quer na construção, quer na exploração;
- quais os preços que poderão cobrar pelos recursos que proporcionam.

A resolução destes problemas, articulando todos os aspectos mencionados tem vindo a tornar-se possível pela utilização das chamadas abordagens sistémicas. Efectivamente estas abordagens permitem que as variadas facetas do problema sejam vistas como constituindo uma entidade única e não como um conjunto de partes individualizadas.

A análise de sistemas constitui uma ferramenta capaz de integrar as contribuições e as linguagens de diferentes disciplinas e de incorporar os dados e os resultados da investigação de diferentes domínios.

Este tipo de abordagens contém, essencialmente, as seguintes fases (Figura 2): definição do problema concreto e dos objectivos a atingir, análise dos diferentes aspectos do problema e recolha de dados, sistematização de diferentes cenários possíveis, resolução do problema.

Nesta figura é visível a evidente necessidade de diálogo entre a componente técnica (os planeadores) e a componente política (os decisores).

De posse de todos os elementos que servem para caracterizar o problema, há que determinar o conjunto de decisões que optimizam os objectivos definidos. Para a obtenção da solução óptima de um sistema tão complexo como o anteriormente descrito, é desejável que se recorra a técnicas de programação matemática adequadas ao tipo de problema em causa. Torna-se, pois, necessário estabelecer um modelo decisional, composto por uma função objectivo que traduza em termos técnicos os objectivos pré-definidos e por restrições que traduzam todos os aspectos do problema: orçamentais, físicos, legais e tecnológicos.

De uma maneira geral a expressão do modelo decisional toma a forma seguinte:

Max ou Min  $f(x)$

sujeito a :  $g(x) = b$

$f(x)$ : função objectivo

$g(x) = b$ : restrições

$x$ : variáveis de decisão.

#### a) Função objectivo

A função objectivo é elaborada tendo em conta os critérios previamente definidos para a realização da intervenção. Para a expressão técnica desses critérios poderão ser relevantes:

- as funções de benefício-custo relativas à implantação, exploração/utilização dos diferentes tipos de infraestruturas;
- a fiabilidade técnica de certas infraestruturas;
- a natureza e o nível de risco associados ao dimensionamento de certas infraestruturas (tendo em conta os períodos críticos, relativos a acontecimentos extremos, por que terão de passar).

#### b) Restrições

Para a construção das restrições anteriormente tipificadas, os aspectos essenciais a ter em conta são os seguintes:

- nas restrições orçamentais, ter-se-ão de considerar o orçamento disponível para a realização das intervenções e as funções de custo que as traduzem;

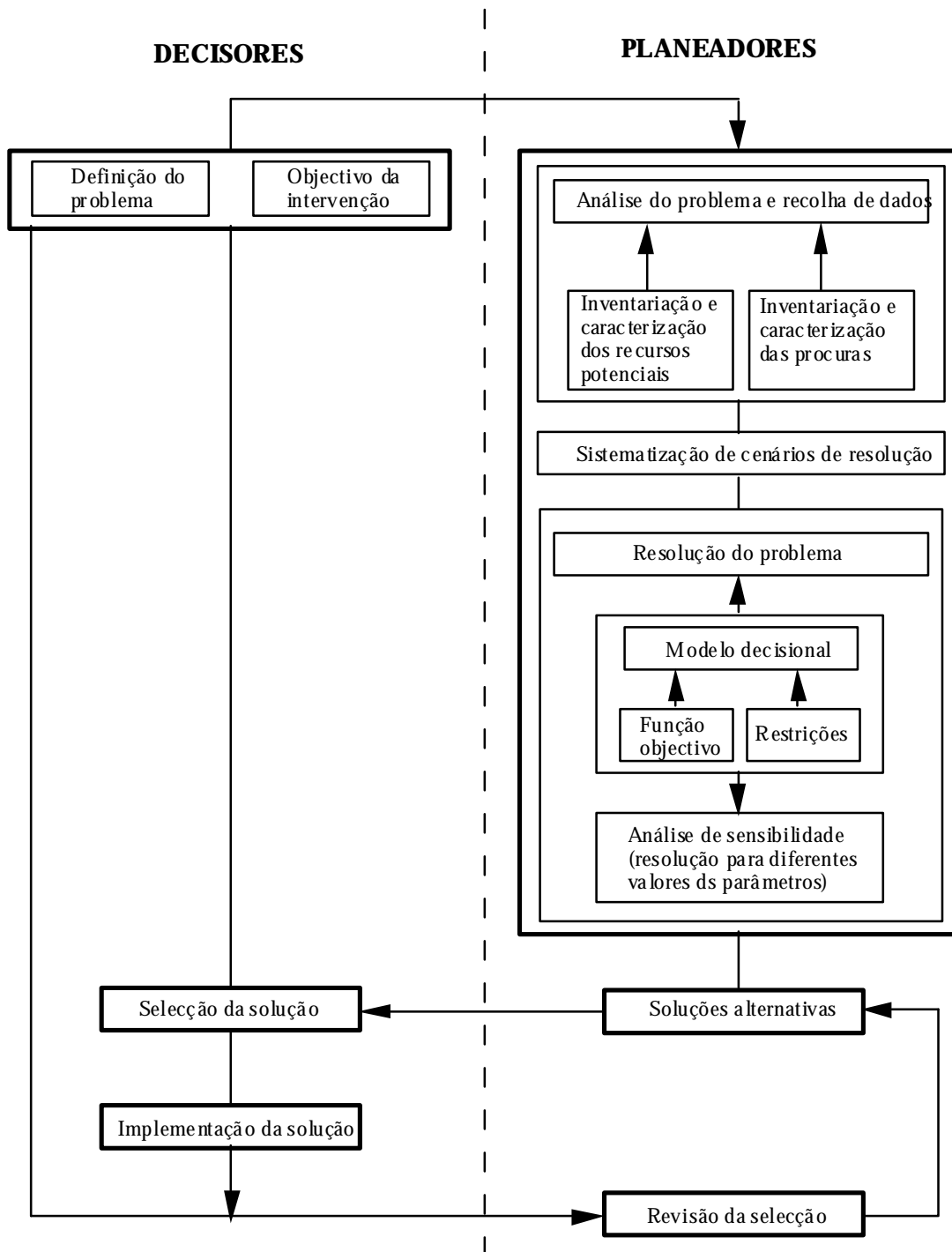


Figura 2 - Fases do processo de planeamento

– nas restrições físicas, ter-se-ão de considerar os modelos de comportamento físico dos ambientes naturais sobre os que se vai intervir. Estes modelos traduzem os condicionamentos que do ponto de vista da quantidade e da qualidade podem por-se à exploração, à satisfação das procuras e aos locais de implantação das infraestruturas;

– nas restrições legais, ter-se-à de considerar a legislação relativa ao recursos hídricos e a todas as outras actividades que de alguma forma intervenham na exploração desses mesmos recursos ;

– nas restrições tecnológicas, ter-se-ão de considerar os condicionamentos tecnológicos relativos às infraestruturas a implementar e que dizem respeito às dimensões e características dos produtos existentes no mercado e às respectivas condições de utilização.

A abordagem integrada do problema de planeamento de recursos hídricos pode levar à construção de modelos decisionais de grandes dimensões com os quais possa tornar-se quase inexecutável a obtenção das soluções óptimas dos problemas. Assim, poderá tornar-se necessária a divisão do sistema considerado em subsistemas, sendo para cada um deles estabelecido um modelo decisional do tipo descrito, tornando-se, então, necessário estabelecer as respectivas equações de ligação.

A partir das soluções proporcionadas pela resolução destes modelos, será escolhida qual a solução a implementar. De facto, raras vezes se trabalha com modelos decisionais de objectivo único, e se tal acontecer haverá sempre parâmetros a cujo valor está associado uma certa indefinição ou, até, incerteza. A apresentação de diferentes soluções decorrentes dos diferentes jogos de parâmetros e da valoração da importância dos diferentes objectivos vai permitir construir um conjunto de alternativas de cuja análise sairá a solução a implementar. Verifica-se, pois, que a existência de um modelo decisional formalmente estabelecido contribui para um mais fácil diálogo entre os diferentes intervenientes no processo de planeamento. Tais modelos facilitam, ainda, a revisão das soluções adoptadas.

### **3 - A APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE SISTEMAS A CASOS REAIS: A SITUAÇÃO ACTUAL**

Do que atrás foi descrito, constata-se que se dispõe de ferramentas capazes de tratar de uma forma rigorosa os problemas em que está em causa a escolha das boas decisões para transformar os recursos potenciais em recursos disponíveis.

No momento, em que no nosso País, está em marcha um processo de concretização dos planos de bacia, donde sairão as linhas de força que enformarão as medidas a tomar para a utilização dos recursos potenciais dessas bacias, impõe-se uma análise da situação actual em relação à aplicação da análise de sistemas no contexto do planeamento de recursos hídricos.

A literatura reporta ciclicamente a situação em que se encontram os países desenvolvidos e os países em vias de desenvolvimento, relativamente a este tema. A análise dessa literatura permite sumariar um conjunto de explicações para que num grande número de casos estas técnicas não sejam utilizadas.

A resistência à sua utilização não é uma questão de preconceito, mas é baseada num conjunto de razões que importa analisar.

Entre essas razões destacamos as seguintes:

1) O desconhecimento da análise de sistemas por parte dos técnicos que têm a seu cargo desenvolver as acções conducentes ao planeamento de recursos hídricos.

É verdade que a análise de sistemas é bastante recente (as primeiras aplicações em recursos hídricos reportadas na literatura são do início dos anos 60) e o seu ensino ao nível do

ensino superior de Engenharia Civil é, ainda, mais recente (em Portugal passa-se, na maioria das Escolas, por volta do início dos anos 80). Acresce que este ensino não é especificamente direccionado para os problemas de recursos hídricos. Assim, os técnicos responsáveis ou por não possuírem formação ou porque desconhecem as formas da sua aplicação, não são sensíveis às vantagens da sua utilização;

2) A necessidade de construção de um modelo decisional, obriga a conformar a realidade a uma representação matemática. Isto obriga a um trabalho diferente do habitual, podendo inibir os potenciais utilizadores.

De facto, a construção de funções de custo e de benefício e a incorporação do comportamento físico do sistema no modelo decisional reveste-se por vezes de alguma dificuldade. Uma representação matemática da realidade muito detalhada pode dar como resultado modelos decisionais bastante complexos e de difícil resolução;

3) As abordagens sistémicas implicam a formação de equipas multidisciplinares, por vezes de compatibilização complicada;

4) A quase inexistência de interfaces comerciais que permitam passar da representação matemática para uma apresentação que facilite o diálogo entre os planeadores e os decisores;

5) O estabelecimento do modelo decisional implica a clarificação de certos aspectos, que por vezes a componente política "não quer" esclarecer, pretendendo fazê-lo apenas na fase de escolha de soluções a implementar, o que leva os técnicos a desistir de tais intenções;

6) A existência de vários centros de decisão nos países desenvolvidos leva a que seja nestes que se verifica a menor percentagem de problemas resolvidos através da análise de sistemas. Ao contrário do que se passa nos países em vias de desenvolvimento, onde a tomada de decisões é mais centralizada (é, também, verdade que nestes últimos há financiamentos externos para a realização das intervenções no âmbito dos recursos hídricos que são precedidos da imposição de uma equipa técnica especializada para a direcção dos trabalhos);

7) Os maiores custos, porventura, associados aos estudos que utilizam as abordagens sistémicas.

As razões expostas têm constituído de certa forma um entrave à utilização das técnicas de análise de sistemas. A este propósito importa esclarecer que certas questões que se colocaram no passado poderão vir a resolver-se e, nalguns casos, até já estarão mesmo ultrapassadas:

1) Os cursos de pós-graduação e os mestrados, especialmente nas áreas de hidráulica e recursos hídricos e ambiente têm um papel importante a desempenhar na sensibilização às vantagens decorrentes da aplicação da análise de sistemas;

2) A construção de um modelo decisional obriga a uma reflexão e a uma sistematização de ideias extremamente proveitosa para a definição e concretização dos problemas. Contribui fortemente para este processo, o diálogo dos diferentes elementos das equipas multidisciplinares.

Relativamente à construção dos modelos, há alguns aspectos que têm vindo a ser ultrapassados, nomeadamente no que diz respeito às simplificações necessárias para que os modelos possam ser resolvidos. De facto a evolução teórica registada neste domínio, com o advento de algoritmos que permitem tratar os problemas quando postos em toda a sua generalidade, e o aumento significativo das capacidades computacionais de cálculo constituem um forte contributo nesse sentido. A este propósito é interessante analisar a evolução havida, através da consulta das obras de referência seguintes: LOUCKS (1981), MAYS e TUNG (1992) e MAYS (1996);

3) Assiste-se a um grande aumento de software disponível no âmbito dos "Decision Support Systems (DSS)";

4) A análise das questões relativas aos diferentes interesses em jogo, pode ser facilitada pelo uso de funções multiobjectivo, cujo estudo vai permitir traçar diferentes cenários alternativos, sobre os quais, os decisores se poderão debruçar. Mesmo para problemas formulados com um único objectivo, a existência de um modelo decisional facilita a apresentação dos cenários decorrentes de diferentes valores dos respectivos parâmetros;

5) Em relação aos custos das abordagens sistémicas é necessário referir que tal poderá ser, em certos casos, verdade (pela maior exigência de dados, pela maior formação dos técnicos, etc.), mas a contabilização dos benefícios posteriores, conseguidos pela implementação das soluções tidas como óptimas do ponto de vista técnico, não deve ser ignorada.

#### **4 - CONCLUSÕES**

A análise de sistemas constitui uma ferramenta capaz de lidar com as múltiplas facetas dos problemas de planeamento de recursos hídricos. Esta ferramenta é cada vez mais utilizada, em problemas reais, para o que tem contribuído os fortes desenvolvimentos teóricos recentes e o significativo aumento das capacidades de cálculo. A nível técnico verifica-se que não existe ferramenta que simultaneamente seja tão objectiva e tão flexível (ROGERS et al. (1986)).

A necessidade de construção de um modelo decisional contribui, por si só, para uma clarificação e uma sistematização do problema a resolver. Hoje caminha-se no sentido da construção de modelos decisionais reflectindo todos os aspectos dos problemas reais, não sendo necessárias as simplificações excessivas, que no passado punham em causa os resultados obtidos.

Seria bastante interessante avaliar qual o grau de utilização de tais ferramentas em Portugal, especialmente no momento em que estão a desenvolver-se os planos de bacia.

Uma visão sistémica permitiria contribuir, certamente, para um melhor aproveitamento dos recursos hídricos, com menores gastos de recursos financeiros e mais de acordo com os bons princípios do desenvolvimento sustentável.

#### **BIBLIOGRAFIA**

LOUCKS, D. P., STEDINGER J. R. E HAITH D. A.. *Water Resource Systems Planning and Analysis*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1981.

Mays, L. W. e Tung Y.K.. *Hydrosystems Engineering & Management*, McGraw-Hil, Inc., New York, 1992.

MAYS, L. W.. *Water Resources Handbook*, McGraw-Hil, Inc., New York, 1996.

ROGERS, P. P. E FIERING, M. B.. " Use of Systems Analysis in Water Management". *Water Resources Research* , 22(9), 1986, pp 146SS-158SS.